

3. Лисиенко В.Г., Воронов Г.В., Китаев Б.И., Кокарев Н.И. Исследование факела природного газа применительно к условиям сталеплавильных печей // XI Международный конгресс, Москва, 9-13 июля 1970 г.; NIGU/E 24-70. – 16 с.
4. Винтовкин А.А., Деньгуб В.В., Воронов Г.В. Топливо, его сжигание и взрывобезопасность. – Екатеринбург: Межрегиональный издательский центр, 2015. – 303 с.
5. Лисиенко В.Г., Китаев Б.И., Кокарев Н.И. Усовершенствование методов сжигания природного газа в сталеплавильных печах. – М.: Металлургия, 1977. – 280 с.
6. Старцев В.А. Скрап карбюраторный процесс при производстве стали в мартеновских печах / В.А. Старцев, Г.В. Воронов, В.И. Лобанов, Э.А. Шумахер, Э.Э. Шумахер. – Екатеринбург, 2004. – 225 с.
7. Глинков М.А. Основы общей теории печей. – М.: Металургиздат, 1962. – 575 с.
8. Вольк К., Шипмэн К.Ч. Диффузионные пламена. Процессы горения. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. С. 307-340.
9. Глухов И.В., Мехряков Д.В., Воронов Г.В., Вдовин К.М., Рыбак А.А., Таранов В.В. Энергосбережение в современной дуговой сталеплавильной печи ДСП-120 // Сталь. 2020. № 5. С. 21-23.

УДК 669.01

А. Н. Горбунова, И. А. Прибытков

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет (НИТУ) «МИСиС»», г. Москва, Россия

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДА В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ТЕПЛОТЫ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЕЧАХ

Аннотация. Водород является современным альтернативным источником энергии. Данный элемент применяется во многих сферах человеческой жизни, в том числе и в металлургии. В статье были рассмотрены варианты расчета горения смесей водорода с различными газами. Обсуждалась перспектива использования водорода в качестве источника теплоты в промышленных печах. Был сделан вывод, что эффективность использования водорода достигается в смеси с низкокалорийными газами.

В исследовании проводились результаты расчетов горения чистого водорода в воздухе при различных степенях обогащения кислородом, доменно-водородной смеси при различной доле водорода в смеси. Определены наиболее рациональные интервалы изменения содержания водорода в смеси к степени обогащения воздуха кислородом.

Ключевые слова: водород, водородная энергетика, горение, источник теплоты, нагревательные печи, альтернативные источник энергии.

Abstract. Hydrogen is a modern means of energy. This element is used in many areas of life, including metallurgy. The article considered options for calculating the combustion of mixtures with various gases. The ability to use hydrogen as heat in industrial furnaces was discussed. It was concluded that the efficiency of using hydrogen in mixtures with low-calorific gases.

In the paper, the results of calculations of the combustion of hydrogen in air at various degrees of oxygen enrichment, a domain-hydrogen mixture at various proportions of hydrogen in the mixtures were carried out. The most rational intervals of variation of the hydrogen content in the mixture to the degree of air enrichment with oxygen have been determined.

Key words: *hydrogen, hydrogen energy, combustion, heat source, heating furnaces, alternative energy source.*

В настоящее время происходит смена парадигмы мировой энергетики [1]. Основными факторами, влияющими на этот процесс, являются: влияние энергетических технологий на экологию и климат, истощение дешевых источников энергии, технический прогресс в добыче и транспортировке энергоносителей. В связи с этим, большое внимание уделяется водородной энергетике, как альтернативному источнику энергии [2]. Главная проблема перехода к водородной энергетике заключается в высоких затратах на производство водорода, его доставку к потребителю и хранение [3]. Однако, несмотря на недостатки, водород отличается высокой степенью теплоотдачи, экологическая безопасность [4]. В металлургии водород применяется достаточно широко: для прямого восстановления железных руд, для интенсификации доменного процесса и снижения расхода кокса в доменных печах. Одним из возможных направлений применения водорода в металлургических технологиях является его использование в качестве топлива в нагревательных печах [5].

Для оценки энергоэффективности использования водорода в качестве источника теплоты в промышленных печах был проведен расчет горения чистого водорода с различными видами газообразных топлив, такими как природный, доменный газ и т.д. Расчеты проводились как в среде атмосферного воздуха, так и воздуха, обогащенного технически чистым кислородом [6].

Целью расчетов являлось определение количества воздуха, необходимого для полного горения топлива; количество и химический состав образующихся продуктов сгорания; калориметрическая температура горения. Далее приведены некоторые результаты расчета горения смеси водорода и доменного газа.

На рисунке 1 показана зависимость количества воздуха, который теоретически необходим для полного сжигания $V_{\text{в.т.}}$; зависимость количества образующихся продуктов сгорания $V_{\text{п.с.}}$ от соотношения этих газов (n_{H_2} — доля водорода в смеси с доменным газом).

С увеличением доли водорода наблюдается линейная зависимость данных величин.

По графику видно, что с ростом доли водорода в смеси, возрастает калориметрическая температура доменно-водородной смеси. Это повышение связано с тем, что калориметрическая температура горения чистого водорода (порядка 2500 °С) существенно выше калориметрической температуры горения чистого доменного газа. Известно, что калориметрическая температура горения чистого доменного газа составляет 1200-1250 °С. Для нагрева металла в печи требуется поддерживать температуру порядка 1400 °С. Эта задача решается увеличением доли водорода в смеси. По графику видно, что доля водорода должна составлять 20-30 % смеси. Увеличение доли водорода выше этих значений приведет к оплавлению футеровки.

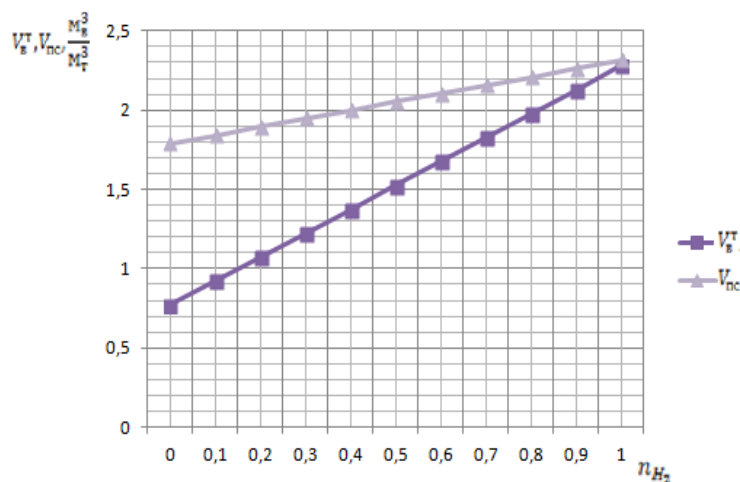


Рис. 1. Зависимость количества воздуха, теоретически необходимого для сжигания 1 м³ топлива, и продуктов сгорания доменно-водородной смеси от доли водорода

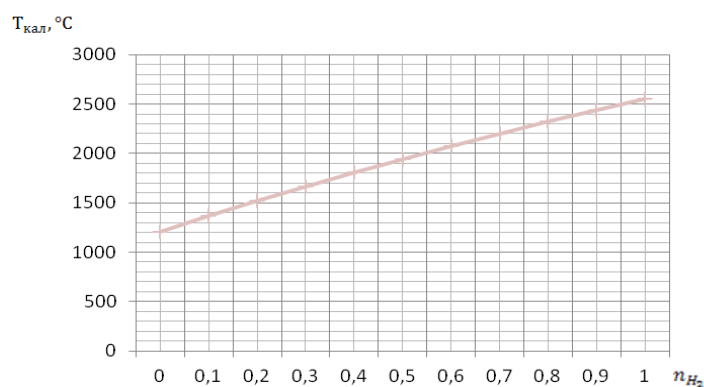


Рис. 2. Зависимость calorиметрической температуры доменно-водородной смеси от доли водорода

Общий вывод: использование доменно-водородных смесей позволяет снизить потребный расход воздуха, теоретически необходимого для сжигания смеси водорода с доменным газом, получить достаточный уровень calorиметрической температуры горения при относительно небольшой доле водорода до 0,3.

Список использованных источников

1. Конторович А.Э. Безумный, безумный, безумный мир, или будущее глобальной энергетики / А.Э. Конторович // Наука из первых рук. 2014.
2. Попадьюко Н.В., Панков С.В., Попадьюко А.М. Водородная энергетика: этапы развития, проблемы и перспективы // Инновации и инвестиции. 2020.
3. Солодова Н.Л. Водород – энергоноситель и реагент. Технологии его получения / Н.Л. Солодова, Е.И. Черкасова, И.И. Салахов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017.

4. Шаяхметов А.Б. Перспективы перехода на водородное топливо / А.Б. Шаяхметов // Наука и техника Казахстана. 2017.

5. Дигонский С.В., Тен В.В. Неизвестный водород. – СПб.: Наука, 2006. – 234 с.

6. Кривандин В.А., Арутюнов В.А., Белоусов В.В. Теплотехника металлургического производства. Т. 1. Теоретические основы: учебное пособие для вузов – М.: МИСИС, 2002. – 608 с.

УДК 621.745.343.2

Д. А. Дерябин, В. И. Матюхин

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МИНЕРАЛОВАТНОГО РАСПЛАВА

Аннотация. *Технология производства минераловатных теплоизоляционных материалов задумывалась как способ использования вторичных материальных ресурсов металлургического производства (шлаки). Однако в процессе совершенствования качества производимой продукции возникли предложения по замене части кремнийсодержащих материалов на природные базальты с повышением модуля кислотности расплава с 1,2 до 1,6-1,8 и выше. Этот процесс характеризуется повышением качества минераловатных изделий (огнеупорность, термическая стойкость, долговечность, противодействие внешним воздействиям окружающей среды). Однако процесс производства высокомодульного минерального расплава сопровождается снижением производительности плавильного агрегата, повышением энергетических затрат и ухудшением условий производства конечных изделий.*

Ключевые слова: *доменный шлак, модуль кислотности, минераловатная вагранка, состав шихты, материальный баланс, конструктивные параметры, расчет теплового баланса.*

Abstract. *The technology of production of mineral wool thermal insulation materials was conceived as a way of using secondary material resources of metallurgical production (slags). However, in the process of improving the quality of products, there were proposals to replace some of the silicon-containing materials with natural basalts with an increase in the modulus of acidity of the melt from 1.2 to 1.6-1.8 and higher. This process is characterized by an increase in the quality of mineral wool products (fire resistance, thermal resistance, durability, resistance to external environmental influences). However, the process of producing a high-modulus mineral melt is accompanied by a decrease in the productivity of the melting unit, an increase in energy costs and a deterioration in the production conditions of the final products.*

Key words: *slag, modulus of acidity, mineral wool cupola, charge composition, material balance, design parameters, heat balance calculation.*

Для регулирования модуля кислотности шихты в большинстве случаев используют известняк или доломит. Отличительной особенностью их тепловой обработки является эндотермический характер протекания процесса разложения с уменьшением массы конечного продукта практически на 40 %. Поэтому на ряде